

УДК 581.1

ВЛИЯНИЕ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ НА ОТВЕТНЫЕ РЕАКЦИИ ПРОРОСТКОВ КУКУРУЗЫ ПРИ АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕССАХ

© 2008 г. О. О. Молодченкова

*Селекционно-генетический институт -
Национальный центр семеноведения и сортоизучения
Украинской академии аграрных наук
(Одесса, Украина)*

Исследовали влияние салициловой кислоты на интенсивность процессов пероксидного окисления липидов, содержание восстановленного глутатиона и активность H^+ -АТФазы, лектинов клеточных стенок в проростках кукурузы при действии водного дефицита и повышенной температуры. Установлены разнохарактерные изменения изученных показателей в зависимости от засухоустойчивости линий кукурузы. Показано, что предварительная обработка семян салициловой кислотой способствует повышению устойчивости растений кукурузы к повреждающим факторам абиотической природы, таким как водный дефицит, тепловой стресс. Обсуждаются возможные связи между засухоустойчивостью растений кукурузы и индуцируемыми салициловой кислотой изменениями про-/антиоксидантного равновесия, активности H^+ -АТФазы и лектинов в растительных тканях.

Ключевые слова: *Zea mays L.*, салициловая кислота, устойчивость, засуха

Согласно современным представлениям, одним из индукторов устойчивости растений к биотическим и абиотическим факторам считается салициловая кислота (СК). Было установлено, что экзогенная СК индуцировала экспрессию генов и синтез целого ряда белков, в том числе относящихся к PR-белкам, а также образование фитоалексинов [8]. Накопление СК вызывало индуцирование системной устойчивости тканей растений к патогенам [32]. СК принимает участие в активации ряда сигнальных систем растений, таких как НАДФН-оксидазная, NO-сигнальная, MAP-киназная и, возможно, и других систем [23]. В ряде исследований показана возможность повышения устойчивости пшеницы к абиотическим стрессовым факторам под действием экзогенной СК [11, 27].

Данные литературы свидетельствуют о вероятной роли гликопротеинов типа лектинов

в адаптации растений к разнообразным по природе стрессовым воздействиям и вовлечении их в формирование неспецифических защитных реакций [16]. Установлена индукция накопления агглютинина зародыша пшеницы при обработке растений элиситорами, а также под влиянием обработки СК [27].

При воздействии на растения различных стрессовых факторов происходят значительные изменения в окислительных процессах, которые ведут к образованию разнообразных форм активного кислорода и продуктов пероксидного окисления липидов (ПОЛ) [2]. Показано, что смещение про-/антиоксидантного равновесия в направлении активации липопероксидации может быть сигналом для запуска стресс-реакции клетки. При этом продукты ПОЛ могут быть как индикаторами, так и первичными медиаторами стресса как особого состояния клетки, которое может привести к ее повышенной резистентности [13]. На культуре клеток табака было показано, что СК и ее аналоги индуцировали накопление продуктов ПОЛ. Индукция PR-генов СК подавлялась диэтилдитиокабаминовой кислотой, которая превращает пероксиды

Адрес для корреспонденции: Молодченкова Ольга Олеговна, Селекционно-генетический институт УААН, Овидиопольская дор., 3, Одесса, 65036, Украина;
e-mail: adam@paco.net

ВЛИЯНИЕ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

липидов в их гидроксипроизводные. На этом основании было высказано предположение, что индукция липидной перекисидации радикалом СК может являться механизмом действия СК и что один или несколько продуктов липоперекисидации служат посредниками сигнальной трансдукции, ведущей к экспрессии PR1-гена [4].

Поддержание стабильного физиологического нормального уровня окислительных процессов в клетке обеспечивается за счет функционирования антиоксидантной системы, которая включает соответствующие ферменты и низкомолекулярные антиоксиданты [6, 7, 13].

Важную роль в формировании ответных адаптационных реакций растительной клетки выполняет H^+ -АТФаза. Повышение H^+ -АТФазной активности при стрессовых воздействиях способствует поддержанию мембранного потенциала в этих условиях [20, 33]. Предполагается возможное регуляторное воздействие продуктов ПОЛ на активность данного фермента в тканях растений при формировании защитных механизмов растений в стрессовых условиях [5, 19].

Ранее нами проведено сравнительное изучение особенностей изменения ответных реакций проростков кукурузы при инфицировании возбудителями фузариоза, влиянии водного дефицита, повышенной температуры и СК [17, 18]. Настоящая работа является продолжением предыдущих исследований и ее целью было изучить влияние предварительной обработки семян кукурузы СК на интенсивность процессов ПОЛ, содержание восстановленного глутатиона, активность лектинов (ЛА) клеточных стенок и H^+ АТФазы в проростках изучаемых линий кукурузы при водном дефиците (ВД), тепловом шоке (ТШ).

МЕТОДИКА

Объектом исследования были трехсуточные проростки линий кукурузы (*Zea mays* L.), различающихся по засухоустойчивости (устойчивые линии – Од 329 3М, Од 221 МВ; неустойчивые линии – СМ 73М, ГК 26 3М).

В опытах использовали неповрежденные зерновки кукурузы, которые проращивали на фильтровальной бумаге в термостате при температуре 25 °С при относительной влажности воздуха 60%. ВД создавали, помещая проростки в камеру с влажностью воздуха 35-40%. ТШ создавали путем размещения растений в термостате при 37 °С. Длительность действия ВД и

ТШ – 6 ч. Перед экспериментом часть зерновок обрабатывали 2 мМ раствором СК на протяжении ночи. По окончании экспозиции отпрепарированные надземную часть проростков и корни замораживали при -70 °С.

Лектины клеточных стенок из надземной части проростков и корней выделяли по методике [1]. ЛА определяли по их способности агглютинировать трипсинизированные эритроциты белых крыс при комнатной температуре [12, 14]. За ЛА принимали величину, обратную минимальной концентрации белка, при которой происходит агглютинация эритроцитов (мкг белка/мл)⁻¹. Получение эритроцитов и трипсинизирование проводили по методике [14, 15]. Общее содержание белка в экстракте определяли по методу Лоури [28].

ПОЛ тестировали по количеству малонового диальдегида (МДА). Содержание МДА определяли по цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой с последующим измерением оптической плотности на спектрофотометре “Specol – 11” при 532 нм [13].

Для определения восстановленной формы глутатиона использовали 20%-ный гомогенат проростков, приготовленный на 0,3 М калий-фосфатном буфере с рН 7,5. Полученный гомогенат центрифугировали в течение 20 мин при 2300 г. К 2 мл супернатанта добавляли 3 мл осаждающего реактива (в 100 мл которого содержится 1,67 г HPO_3 , 0,2 г трилона Б, 30 г NaCl) и проводили повторное центрифугирование в течение 10 мин при 2300 г. К 2 мл 0,3 М калий-фосфатного буфера добавляли 0,05 мл 1мМ раствора реактива Элмана и 2 мл полученного супернатанта, после чего проводили измерение оптической плотности при 412 нм на спектрофотометре “Specol-11”. Содержание восстановленного глутатиона вычисляли по калибровочной кривой и выражали в ммоль/г сырого вещества [7].

Гидролитическую активность H^+ -АТФазы оценивали по увеличению содержания неорганического фосфора в среде инкубации. С этой целью 0,1 мл гомогената растительной ткани вводили в среду инкубации, содержащую 3 мМ $MgCl_2$, 3 мМ АТФ и 50 мМ KCl в 0,025 М трис-ацетатном буфере при рН 6,5. Реакцию проводили при 38 °С в течение 30 мин, после чего добавляли 10%-ную трихлоруксусную кислоту, осадок отделяли центрифугированием [21]. В супернатанте количество неорганического фосфата (P_n) определяли методом Лоури и Лореса по оптической плотности при 720 нм

[9]. Активность ферментов рассчитывали на белок.

Цифровой материал обработан статистически, определен критерий достоверности.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изучение интенсивности процессов ПОЛ в проростках кукурузы при действии ВД, ТШ и совместном действии этих факторов показало, что у устойчивых линий при ВД, ТШ и совместном действии этих стрессовых факторов содержание МДА не изменялось или увеличивалось незначительно в 1,16-1,2 раза относительно контроля (рис. 1). У неустойчивых линий кукурузы содержание МДА увеличивалось при действии стрессов в 1,16-1,62 раза относительно контроля как в надземной части проростков, так и в корнях. При действии экзогенной СК в надземной части и корнях проростков устойчивых линий кукурузы происходило снижение содержания МДА в 1,66 и 1,8 раза относительно контроля. У неустойчивых линий кукурузы под влиянием СК уровень МДА увеличивался в 1,2 раза относительно контроля как в надземной части, так и в корнях проростков. После предварительной обработки семян СК содержание МДА в тканях надземной части проростков устойчивых линий кукурузы снижалось в 1,1-1,2 раза относительно данного показателя у растений, подвергнутых действию ВД, ТШ и сочетанию ВД+ТШ, а в тканях корней – в 1,72-2,12 раза. Аналогичные изменения содержания МДА наблюдались в тканях проростков неустойчивых линий кукурузы (рис. 1).

Изменения интенсивности процессов ПОЛ сопровождалось изменениями в содержании компонента антиоксидантной защиты клетки – восстановленного глутатиона (рис. 2). В надземной части и корнях проростков устойчивых линий кукурузы наблюдалось увеличение содержания восстановленного глутатиона в 1,4-2,0 раза относительно контроля при ВД, ТШ и совместном действии двух факторов. При воздействии СК уровень восстановленного глутатиона у устойчивых линий уменьшался в 2-4 раза относительно контроля в надземной части и корнях проростков. У неустойчивых линий кукурузы в надземной части проростков содержание восстановленного глутатиона оставалось на уровне контроля, а в корнях – уменьшалось в 3,2 раза относительно контроля. После предварительной обработки семян СК содержание восстановленного глутатиона у устойчивых линий снижалось в 2,5-3,6 раза относительно контроля в надземной части проростков, подвергнутых действию

ВД и ТШ, и в 1,33-1,95 раза относительно контроля – в тканях корней. У неустойчивых линий кукурузы уровень восстановленного глутатиона изменялся незначительно после предобработки семян СК в тканях надземной части и корней по сравнению с растениями, подвергнутыми воздействию ВД и ТШ (рис. 2).

Результаты изучения активности мембранного фермента H^+ -АТФазы в проростках линий кукурузы, различающихся по засухоустойчивости, в условиях водного дефицита и повышенных температур показало следующее. У устойчивых линий кукурузы в надземной части проростков при ВД, ТШ и совместном действии этих двух факторов наблюдалось увеличение активности фермента в 1,48-1,72 раза относительно контроля (рис. 3). В корнях устойчивых линий кукурузы при ВД происходило увеличение активности фермента в 1,34 раза относительно контроля, а при ТШ и комбинированном влиянии двух стрессоров активность H^+ -АТФазы увеличивалась незначительно. У неустойчивых линий кукурузы в надземной части проростков при ВД, ТШ и совместном действии этих двух факторов отмечалось увеличение активности фермента в 1,2-1,5 раза относительно контроля. В корнях проростков неустойчивых линий при ВД, ТШ и совместном действии ВД и ТШ происходило уменьшение активности H^+ -АТФазы в 1,24-1,44 раза относительно контроля.

При воздействии СК у устойчивых линий кукурузы в надземной части и корнях проростков происходило увеличение активности фермента в 1,58 и 1,45 раза относительно контроля. У неустойчивых линий кукурузы в надземной части проростков наблюдалось снижение активности H^+ -АТФазы в 1,2 раза, а в корнях – ее повышение в 1,18 раза относительно показателей контрольных растений.

При предобработке семян кукурузы СК в надземной части проростков кукурузы устойчивых линий активность фермента уменьшалась по сравнению с величинами у растений, подвергнутых воздействию ВД и ТШ, в 1,5 и 1,32 раза и увеличивалась относительно показателей у растений, подвергнутых совместному действию ВД и ТШ, в 1,43 раза. В корнях проростков устойчивых линий активность фермента практически не изменялась относительно контроля, за исключением проростков, испытывавших совместное действие ВД и ТШ (активность фермента немного увеличивалась по сравнению с необработанными СК растениями).

ВЛИЯНИЕ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

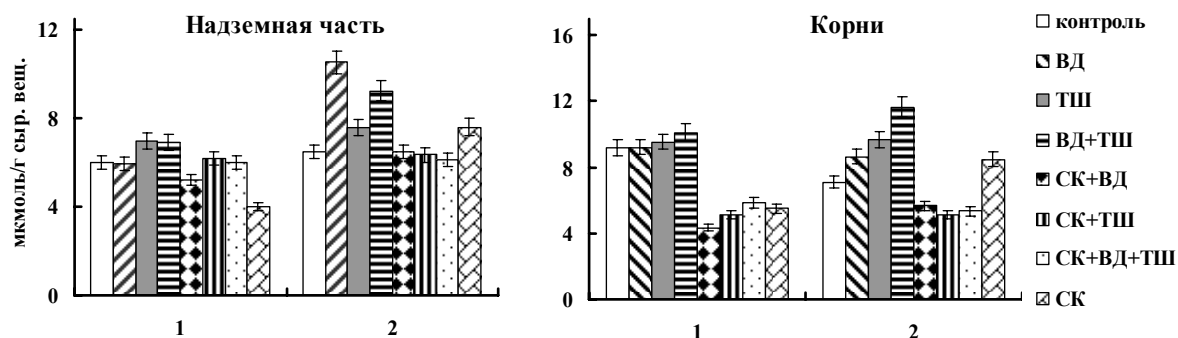


Рис. 1. Содержание малонового диальдегида в тканях проростков линий кукурузы при абиотических стрессах и действии салициловой кислоты.

Здесь и на рис. 2-4: 1 – устойчивые линии, 2 – неустойчивые линии.

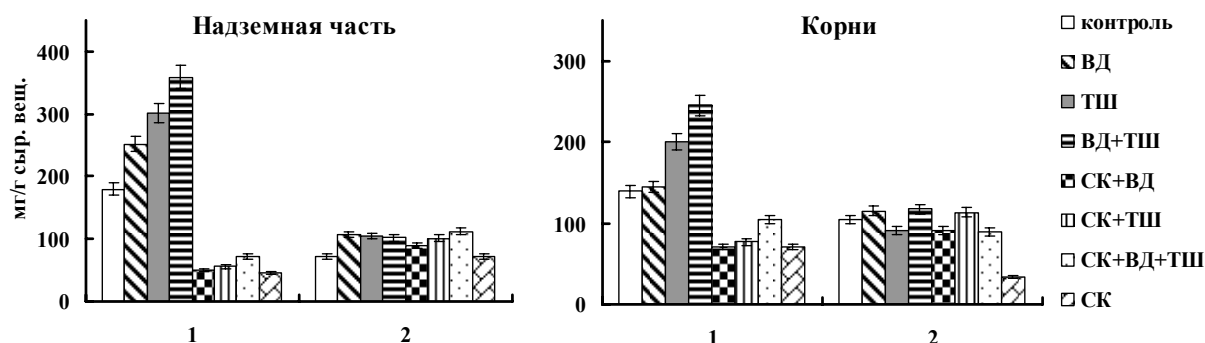


Рис. 2. Содержание восстановленного глутатиона в тканях проростков линий кукурузы при абиотических стрессах и действии салициловой кислоты.

В надземной части проростков неустойчивых линий кукурузы в условиях водного дефицита активность фермента предобработанных СК растений увеличивалась относительно необработанных растений в 1,14 раза. В корнях этих растений увеличение составило 20%. При ТШ и совместном действии ВД и ТШ в надземной части проростков предобработанных СК активность H^+ -АТФазы уменьшалась относительно необработанных растений в 1,18 и 1,3 раза соответственно. В корнях предобработанных растений неустойчивых линий кукурузы активность фермента после воздействия изучаемых стрессоров увеличивалась относительно необработанных растений в 1,52 и 1,66 раза (рис. 3).

В надземной части при ВД, ТШ и совместном действии данных стрессовых факторов происходило увеличение ЛА клеточных стенок по отношению к контролю в 1,35-1,44 раза (рис. 4). У неустойчивых линий кукурузы ЛА под действием стрессоров уменьшалась в надземной части проростков и особенно в корнях.

При воздействии СК ЛА в надземной части и корнях проростков устойчивых и неустойчивых линий кукурузы увеличивалась относительно контроля в 1,2-3,9 раза.

В предобработанных СК растениях устойчивых линий кукурузы при действии ВД, ТШ и совместном влиянии данных факторов происходило увеличение ЛА в 3,32-3,78 раза по отношению к необработанным СК растениям в надземной части проростков и в 1,43-4,15 раза в корнях. В надземной части предобработанных СК растений неустойчивых линий кукурузы происходило увеличение ЛА по отношению к контрольным растениям в 1,5-2,56 раза в условиях ВД, ТШ и при совместном действии этих двух стрессовых факторов. В корнях предобработанных СК растений неустойчивых линий кукурузы происходило снижение ЛА относительно контроля в 1,25-2,69 раза при действии изучаемых стрессовых факторов, но это снижение было менее выражено, чем у необработанных СК растений кукурузы (рис. 4).

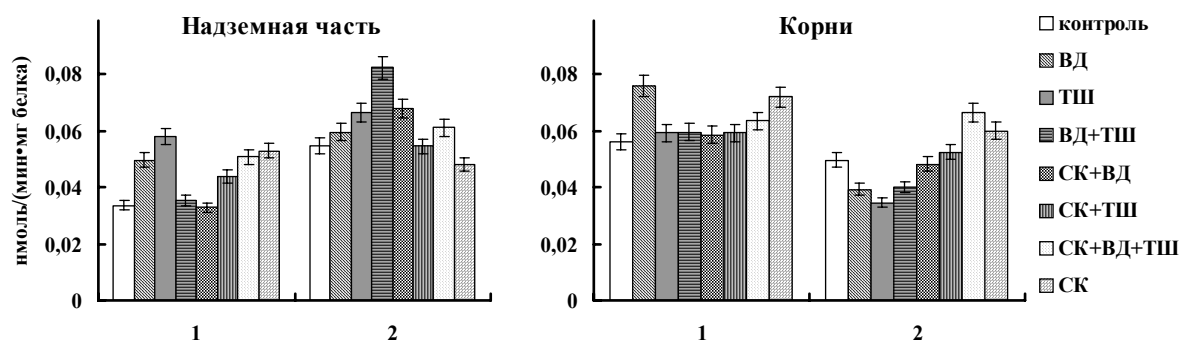


Рис. 3. Гидролитическая активность H^+ -АТФазы в проростках линий кукурузы при абиотических стрессах и действии салициловой кислоты.

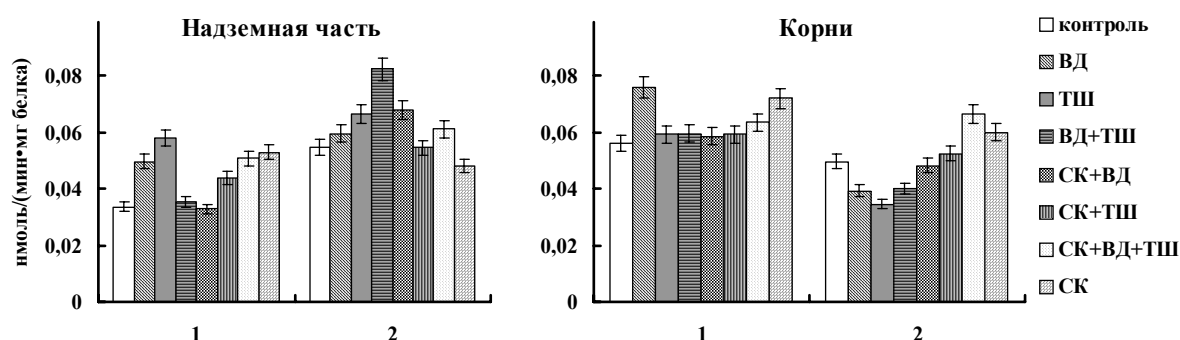


Рис. 4. Активность лектинов клеточных стенок в проростках линий кукурузы при абиотических стрессах и действии салициловой кислоты.

ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что СК может принимать участие в индукции механизмов устойчивости к абиотическим неблагоприятным факторам среды [11]. Так, имеются данные о снижении степени повреждающего действия ионов тяжелых металлов на растения риса при обработке СК [30], индукции под влиянием СК биосинтеза БТШ в растениях табака [3], а также усилении при действии СК (наряду с поранением и АБК) транскрипционной активности гена экстенсина, нормально экспрессирующегося в растениях арабидопсиса [4].

Многими авторами установлено, что при различных стрессовых воздействиях в клетках растений происходит активация процессов ПОЛ [2, 6, 13]. Проведенными в данной работе исследованиями было показано, что в условиях ВД, при тепловом шоке и совместном действии этих двух факторов в тканях проростков кукурузы наблюдалось увеличение содержания МДА как у устойчивых, так и у восприимчивых линий кукурузы. У восприимчивых линий кукурузы повышение уровня ПОЛ было более

значительным по сравнению с устойчивыми линиями, что может быть связано с особенностями свойств мембранных структур клеток растений. Образующийся МДА способен взаимодействовать со свободными аминокислотными группами белков, компонентами фосфолипидов, инициировать появление в мембранах этилена. Все вместе это может приводить к изменению свойств как мембран в целом, так и их отдельных компонентов в клетке при стрессовых воздействиях. При предобработке растений СК содержание МДА уменьшалось в тканях как устойчивых, так и, особенно резко, неустойчивых линий кукурузы по сравнению с необработанными СК растениями. Такая реакция растений на действие СК связана с ее влиянием на про-/антиоксидантную систему клетки, результатом чего является снижение уровня деструктивных процессов, вызываемых ВД и воздействием повышенных температур.

Изменения интенсивности ПОЛ сопровождалась перестройками в антиоксидантной системе клеток растений, одним из компонентов которой является восстановленный глутатион. Изучение содержания восстановленного

ВЛИЯНИЕ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

глутатиона в проростках кукурузы при ВД, ТШ и совместном действии этих двух факторов показало, что оно находилось в обратно пропорциональной зависимости от изменений уровня МДА, что является естественным следствием расходования GSH при усилении окислительных процессов.

При предобработке растений СК у устойчивых линий кукурузы содержание восстановленного глутатиона резко снижалось относительно контроля и необработанных СК растений при ВД, ТШ и совместном действии этих факторов. У неустойчивых линий кукурузы при предобработке растений СК уровень восстановленного глутатиона практически не изменялся или оставался на уровне необработанных СК растений. Уменьшение содержания восстановленного глутатиона может быть вызвано расходом его пула для обезвреживания активных форм кислорода, усиление генерации которых относится к эффектам СК [11].

Ферментом, способствующим поддержанию мембранного потенциала растительной клетки в условиях стресса, является H^+ -АТФаза [29, 33, 34]. Воздействие стрессовых факторов вызывало изменение активности гидролитической активности H^+ -АТФазы в проростках кукурузы. При предобработке растений СК изменения гидролитической активности H^+ -АТФазы при стрессовых воздействиях были менее значительными, чем у необработанных растений. В корнях неустойчивых линий кукурузы у предобработанных СК растений при совместном действии ВД и ТШ активность фермента незначительно увеличивалась относительно контроля по сравнению с необработанными растениями. Известно, что активность H^+ -АТФазы зависит от фазоструктурного состояния мембран [29]. Это позволяет предполагать высокую чувствительность фермента к вызываемым процессами ПОЛ изменениям в составе и свойствах липидного матрикса. В проведенных экспериментах при предобработке семян СК происходило снижение уровня МДА по отношению к необработанным растениям, что могло способствовать также и стабилизации активности H^+ -АТФазы. По всей видимости, происходящие при воздействии СК изменения окислительных и антиокислительных процессов, активности мембранных ферментов направлены на инициацию механизмов гомеостатирования [5], и как следствие, развитие общей защитной стресс-реакции растения при изучаемых стрессовых воздействиях.

Изучение лектинов клеточных стенок показало, что при предобработке семян кукурузы СК происходило значительное увеличение уровня ЛА в проростках кукурузы при действии стрессовых факторов по сравнению с необработанными растениями, в особенности у устойчивых линий кукурузы. Повышение уровня ЛА под влиянием СК отмечалось и другими авторами [12, 15, 16, 24-26]. Предполагается, что лектины вовлекаются в механизмы защитного действия СК, способствующие повышению устойчивости растений к стрессорам, в частности к засухе и действию высоких температур.

Таким образом, полученные результаты показали наличие разнохарактерных изменений уровня ПОЛ, восстановленного глутатиона, гидролитической активности H^+ -АТФазы и лектиновой активности в проростках кукурузы, различающихся по засухоустойчивости, при водном дефиците, воздействии высоких температур и совместном действии этих факторов. Такие изменения могут быть причастны к формированию адаптивных реакций при засухе. В более ранних статьях были установлены генотипические изменения показателей, изученных в данной работе и ряда других биохимических параметров при заражении растений кукурузы возбудителями фузариозной инфекции и засухе [17, 18].

Предварительная обработка семян СК, по всей видимости, способствует повышению сопротивляемости растений кукурузы к повреждающим факторам различной природы, таким как водный дефицит, тепловой стресс, фузариозная инфекция. Как показывают полученные нами результаты, такие эффекты, по-видимому, связаны с модуляцией про-/антиоксидантного равновесия в клетке, изменением активности мембранных ферментов и лектинов. Эти изменения в тканях проростков кукурузы под действием СК могут быть результатом активации сигнальных систем, участвующих в формировании защитных ответных реакций растений при повреждающих воздействиях различной природы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексидзе Г.Я., Выскребенцева Э.И., Королева Н.П.* Очистка и некоторые свойства лектина из фракции клеточных стенок корнеплода сахарной свеклы // Физиология растений. – 1984. – Т. 31, № 6. – С. 1021-1027.
2. *Барабой В.А.* Механизмы стресса и перекисное окисление липидов // Успехи соврем. биологии. – 1991. – Т. 111, вып. 6. – С. 923-932.

3. Бурханова Э.А., Федина А.Б., Кулаева О.Н. Сравнительное изучение влияния салициловой кислоты и (2'-5')-олигоаденилатов на синтез белка в листьях табака при тепловом шоке // Физиология растений. – 1999. – Т. 46, № 1. – С. 16-22.
4. Васюкова Н.И., Озерецковская О.Л. Индуцированная устойчивость растений и салициловая кислота // Прикл. биохимия и микробиол. – 2007. – Т. 43, №4. – С. 405-411.
5. Веселов А.П., Курганова Л.Н., Лихачева А.В., Сушкова У.А. Возможное регуляторное влияние перекисного окисления липидов на активность Н⁺-АТФазы плазмалеммы в условиях стресса // Физиология растений. – 2002. – Т. 49, № 3. – С. 385-389.
6. Гришко В.Н., Сыщиков Д.В. Пероксидное окисление липидов и функционирование некоторых антиокислительных ферментных систем у кукурузы и овса при остром поражении фтористым водородом // Укр. биохим. журн. – 1999. – Т. 71, № 3. – С. 52-53.
7. Гришко В.Н., Сыщиков Д.В. Метод определения восстановленной формы глутатиона в вегетативных органах растений // Укр. биохим. журн. – 2002. – Т. 74, № 48. – С.123-124.
8. Дмитриев А.П. Сигнальные молекулы растений для активации защитных реакций в ответ на биотический стресс // Физиология растений. – 2003. – Т. 50, № 3. – С. 465-474.
9. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. и др. Методы биохимического исследования растений. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
10. Ильинская Л.И., Васюкова Н.И., Озерецковская О.А. Биохимические аспекты индуцированной устойчивости и восприимчивости растений // Итоги науки и техники. Сер. Защита растений. – М.: ВИНТИ, 1991. – С. 4-78.
11. Колупаев Ю.С., Акініна Г.С. Вплив саліцилової кислоти на теплостійкість колеоптилів пшениці у зв'язку зі змінами окиснювального метаболізму // Физиология и биохимия культ. растений. – 2005. – Т. 37, № 6. – С. 524-529.
12. Комарова Э.Н., Выскребенцева Э.И., Трунова Т.И. Изменение лектиновой активности меристемы узла кущения озимой пшеницы при закаливании к морозу // Физиология растений. – 1995. – Т. 42, № 4. – С. 612-615.
13. Курганова Л.Н., Веселов А.П., Гончарова Т.А., Синицына Ю.В. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная система защиты в хлоропластах гороха при тепловом шоке // Физиология растений. – 1997. – Т. 44, № 5. – С. 725-735.
14. Луцик М.Д., Панасюк Е.Н., Луцик А.Д. Лектины. – Львов: Вища школа, 1981. – 155 с.
15. Маличенко С.М., Назаренко Н.И., Кириченко Е.В., Заяц В.Н. Выделение лектинов из семян и корней люпина (*Lupinus luteus* L.) и изучение их свойств // Физиология и биохимия культ. растений. – 1994. – Т. 26, № 3. – С. 252-256.
16. Марков Е.Ю., Хавкин Э.С. Лектины растений: предполагаемые функции // Физиология растений. – 1983. – Т. 30, № 5. – С. 852-868.
17. Молодченкова О.О., Адамовская В.Г., Левицкий Ю.А., Гонтаренко О.В. Ответная реакция растений кукурузы на действие салициловой кислоты и *Fusarium moniliforme* // Прикл. биохимия и микробиол. – 2002. – Т. 38, № 4. – С. 441-446.
18. Молодченкова О.О., Адамовская В.Г., Тихонова О.В. и др. Особенности реакций проростков кукурузы на воздействие биотических и абиотических факторов // Физиология и биохимия культ. растений. – 2007. – Т. 39, № 6. – С. 496-505.
19. Молодченкова О.О., Адамовская В.Г., Цисельская Л.И., Тихонова О.В. Содержание диеновых конъюгатов и активность Н⁺-АТФазы, глутатионредуктазы проростков злаковых культур при фузариозе и действии салициловой кислоты // Вісн. Харків. націон. ун-ту. Сер. Біологія. – 2007. – Вип. 2 (11). – С. 43-51.
20. Опритов В.А., Пятыхин С.С., Крауз В.О. и др. Активация электронного Н⁺ насоса плазматических мембран при адаптации клеток высшего растения к низкой положительной температуре // Физиология растений. – 1994. – Т. 41. – С. 488-493.
21. Рудашевская Е.Л., Кирпичникова А.А., Шишова М.Ф. Активность Н⁺-АТФазы плазмалеммы клеток колеоптилей в процессе развития проростка кукурузы // Физиология растений. – 2005. – Т. 52, № 4. – С. 566-572.
22. Серова З.Я., Юшко Л.С., Подчуфарова Г.М. Функции белков в фитопатогенезе. – Минск.: Наука і тэхніка. – 1992. – С. 34-45.
23. Тарчевский И.А. Сигнальные системы клеток растений. – М.: Наука, 2002. – 294 с.
24. Хайрулин Р.М., Шакирова Ф.М., Максимов И.В. и др. Изучение содержания лектина, абсцизовой и индолилуксусной кислот в растениях пшеницы, инфицированных *Septoria S. novorum* Berk // Физиология и биохимия культ. растений. – 1993. – Т. 25. – С. 138-144.
25. Шакирова Ф.М., Безрукова М.В., Хайрулин Р.М. Увеличение уровня лектина в проростках пше-

ВЛИЯНИЕ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

- ницы под влиянием солевого стресса // Изв. РАН. Сер. биол. – 1993. – № 1. – С. 142.
26. Шакирова Ф.М., Безрукова М.В., Шахметов И.В. Влияние теплового стресса на динамику накопления АБК и лектина в клетках каллуса пшеницы // Физиология растений. – 1995. – Т. 42, № 5. – С. 700-702.
27. Шакирова Ф.М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция. – Уфа: Гилем, 2001. – 160 с.
28. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.Z., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent // J. Biol. Chem. – 1951. – V. 193. – P. 265-275.
29. Michelet B., Boutry M. The plasma membrane H⁺-ATPase // Plant Physiol. – 1995. – V. 108. – P. 1-6.
30. Mishra A., Choudhuri M.A. Effect of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice // Biol. Plant. – 1999. – V. 42. – P. 409-415.
31. Pieterse C.V.J., Loon L.C. Salicylic acid independent plant defence pathways // Trends in Plant Sci. – 1999. – V. 4, № 2. – P.52-58.
32. Ryal J., Neuenschawander U.H., Willits M.G. et al. Systemic Acquired Resistance // Plant Cell. – 1996. – V. 8. – P. 1809-1819.
33. Yan F., Feuerele R., Schaffer S. et al. Adaptation of active proton pumping and plasmalemma ATPase activity of corn roots to low root medium pH // Plant. Physiol. – 1998. – V. 117. – P. 311-319.
34. Zheng H.L., Zhao Z.Q., Zhang C.G. et al. Changes in Lipid Peroxidation, the redox system and ATPase activities in plasma membranes of rice seedlings roots caused by Lanthanum chloride // Biometal. – 2000. – V. 173. – P. 157-163.

Поступила в редакцию
19.06.2008 г.

INFLUENCE OF SALICYLIC ACID ON THE RETURN REACTIONS OF SEEDLINGS OF CORN AT THE ABIOTIC STRESSES

O. O. Molodchenkova

*Plant Breeding and Genetic Institute -
National Center of Seed and Cultivar Investigations
of the Ukrainian Academy of Agrarian Sciences
(Odesa, Ukraine)*

The influence of salicylic acid on intensity of processes of lipid peroxidation, maintenance of recovered glutathione and activity of H⁺-ATPase, lectins of cellular walls in the seedlings of corn at the action of water deficit and heat shock was researched. The various changes of the studied indexes are set depending on drought-resistant of corn line. It is shown that seed treatment by salicylic acid resulted in increase of corn plants resistance to abiotic stress factors such as water deficit and heat shock. Possible relation between the plant resistant to drought of corn and the changes of pro-/antioxidant balance, activity of H⁺-ATPase, and lectins induced by salicylic acid is discussed.

Key words: *Zea mays L., salicylic acid, resistance, drought*

ВПЛИВ САЛІЦИЛОВОЇ КИСЛОТИ НА РЕАКЦІЇ ВІДПОВІДІ ПРОРОСТКІВ КУКУРУДЗИ ПРИ АБІОТИЧНИХ СТРЕСАХ

О. О. Молодченкова

*Селекційно-генетичний інститут -
Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення
Української академії аграрних наук
(Одеса, Україна)*

Досліджували вплив саліцилової кислоти на інтенсивність процесів пероксидного окиснення ліпідів, вміст відновленого глутатіону та активність H⁺-АТФази, лектинів клітинних стінок в

МОЛОДЧЕНКОВА

проростках кукурудзи за дії водного дефіциту і підвищеної температури. Встановлені різнохарактерні зміни вивчених показників залежно від посухостійкості ліній кукурудзи. Показано, що попередня обробка насіння саліциловою кислотою сприяє підвищенню стійкості рослин кукурудзи до абіотичних стресових факторів, таких як водний дефіцит і тепловий стрес. Обговорюються можливі зв'язки між посухостійкістю рослин кукурудзи та індукованими саліциловою кислотою змінами про-/антиоксидантної рівноваги, активності H^+ -АТФази та лектинів в рослинних тканинах.

Ключові слова: *Zea mays L.*, саліцилова кислота, стійкість, посуха